

# **Лекция 10+**

## **Вычислительные системы с программируемой структурой**

**Ефимов Александр Владимирович**  
**E-mail: [alexandr.v.efimov@sibguti.ru](mailto:alexandr.v.efimov@sibguti.ru)**

**Курс «Архитектура вычислительных систем»**  
**СибГУТИ, 2020**

# Понятие о ВС

**Вычислительная система (ВС)** – совокупность взаимосвязанных и одновременно функционирующих аппаратно-программных вычислителей, которая способна не только реализовать (параллельный) процесс решения сложной задачи, но и априори и в процессе работы автоматически настраиваться и перестраиваться с целью достижения адекватности между своей структурно-функциональной организацией и структурой и характеристиками решаемой задачи.

**Распределенная ВС** характеризуется тем, что все её аппаратные и программные ресурсы логически и технически распределены между вычислителями. Нет общих ресурсов.

# Модель коллектива вычислителей

**Вычислительная система** – средство обработки информации, базирующееся на модели коллектива вычислителей

$$S = \langle H, A \rangle$$

$H$  – конструкция

$A$  – алгоритм работы коллектива вычислителей.

$$H = \langle C, G \rangle$$

$C = \{c_i\}$  – множество вычислителей  $c_i$ ,  $i = \overline{0, N-1}$

$N$  – мощность множества  $C$

$G$  – описание макроструктуры коллектива вычислителей, т.е. структуры сети связей между вычислителями  $c_i \in C$  (или структура коллектива)

# Архитектурные принципы коллектива вычислителей

- *Параллелизм при обработке информации* - параллельное выполнение операций на множестве  $S$  вычислителей, взаимодействующих через связи структуры  $G$ ;
- *Программируемость структуры* - настраиваемость структуры  $G$  сети связей между вычислителями, достигаемая программными средствами;
- *Однородность конструкции  $H$*  - однородность вычислителей  $s_i \in S$  и структуры  $G$ .

# Программируемость структуры

Принцип программируемости структуры требует, чтобы в ВС была реализована возможность “хранения” программного описания функциональной структуры и программной ее модификации (перенастройки) с целью достижения адекватности структурам и параметрам решаемых задач.

# ВС с программируемой структурой

Вычислительные системы (ВС) с программируемой структурой – это распределенные средства обработки информации, в которых все компоненты (устройство управления, процессор и память) являются распределенными (нет единого функционально и конструктивно реализованного устройства).

Тип архитектуры ВС – MIMD.

Допускается формирование конфигураций с массовым параллелизмом (Scalable Massively Parallel Architecture Computing Systems).

# ВС с программируемой структурой

Под ВС с программируемой структурой понимается совокупность элементарных машин, функциональное взаимодействие между которыми осуществляется через программно настраиваемую сеть связи.

# ВС с программируемой структурой

**Элементарная машина (ЭМ)** – это композиция из вычислительного модуля и системного устройства.

**Вычислительный модуль (ВМ)** служит как для переработки и хранения информации, так и для выполнения функций по управлению системой в целом (аппаратурно-программный комплекс).

**Системное устройство (СУ)** – это ЛК или КП, предназначенные для взаимодействия данной ЭМ с ближайшими соседними машинами (точнее, с системными устройствами, с которыми имеется непосредственная связь).



# Вычислительная система «Минск-222»

Разработана и построена Отделением вычислительной техники Института математики СО АН СССР совместно с Конструкторским бюро завода им. Г.К. Орджоникидзе Министерства радиопромышленности СССР (г. Минск).

Руководитель работ: Э.В. Евреинов.

Основные разработчики:

В.Г. Хорошевский, Б.А. Сидристый, Г.П. Лопато.

Начало работ - 1965 год.

Первый образец 1966 год.

Системы “Минск-222” были смонтированы в нескольких организациях Советского Союза и эксплуатировались более 15 лет.

# Архитектурные особенности «Минск-222»

- MIMD-архитектура, распределённость ресурсов;
- параллелизм, однородность, программируемость структуры;
- одномерная (кольцевая) топология;
- масштабируемость: 1 – 16 элементарных машин (ЭМ);
- быстродействие:  $\Omega = A \cdot N \cdot \omega$ ,  
 $N$  - число ЭМ,  
 $\omega$  - быстродействие одной ЭМ,  
 $A \geq 1$  - коэффициент (при крупноблочном распараллеливании сложных задач);
- использование промышленных ЭВМ второго поколения.

# Характеристики

Быстродействие 5-6тыс. оп/с

Ёмкость оперативной памяти - 8192 слов.

Количество разрядов - 37

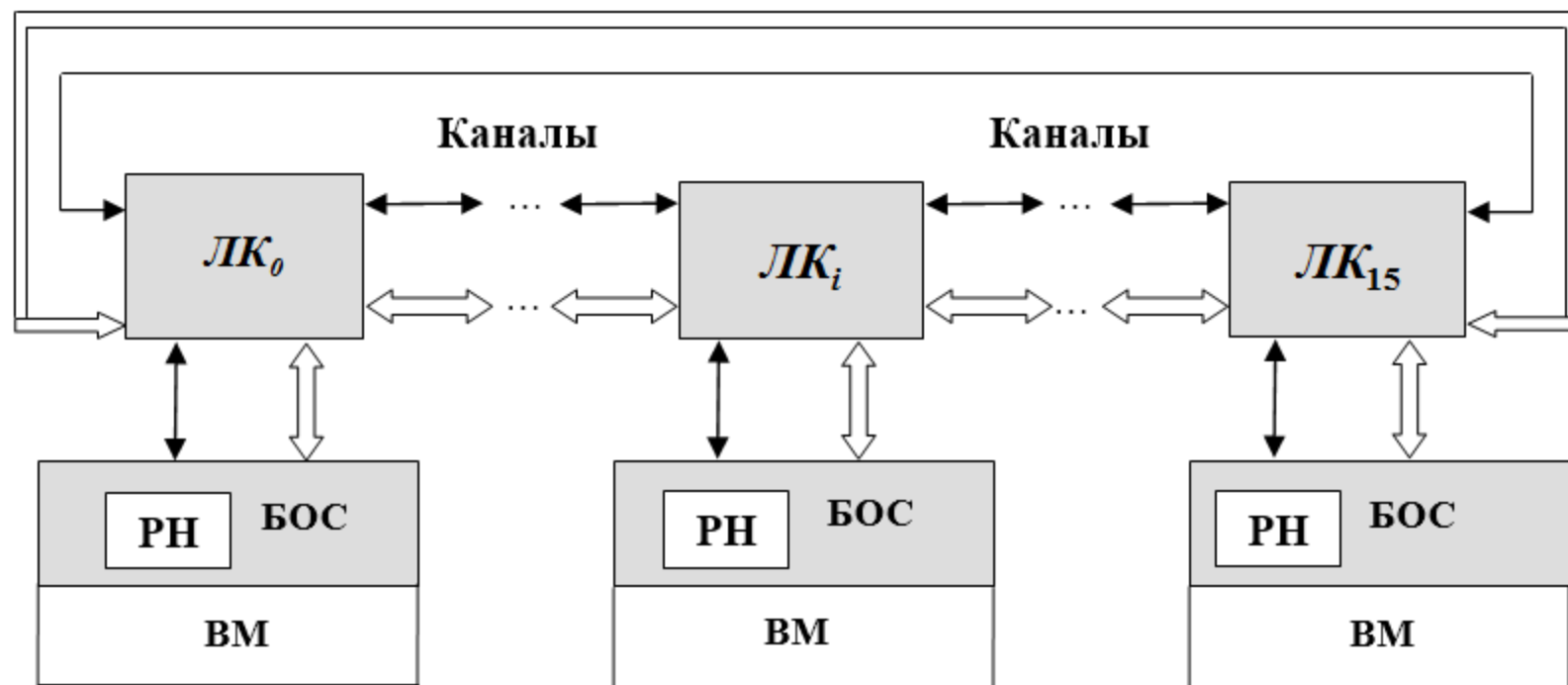
Частота - 250кГц

Система счисления - двоичная с плавающей и фиксированной запятой

Потребляемая мощность - 30кВт

Площадь - 240м<sup>2</sup>

# Функциональная структура «Минск-222»



⇔ — рабочий канал, → — управляющий канал,

ЛК — локальный коммутатор, БОС — блок операций системы, РН — регистр настройки,  
ВМ — вычислительный модуль

# Мини-машинные вычислительные системы с программируемой структурой

# Концептуальные основы построения мини-ВС

- Вычислительные системы, которые формировались из аппаратурно-программных средств мини-ЭВМ, относились к группе **мини-ВС**
  - Работы по созданию вычислительных систем из мини-ЭВМ достаточно интенсивно велись в США. Использовались в основном три способа организации вычислительных систем:
    - системы с общей памятью;
    - ВС с общей шиной (или системой шин), к которой подключались процессоры, запоминающие и другие устройства;
    - системы, в которых машины взаимодействовали через общую группу устройств ввода-вывода информации.
- Как правило, системы не имели программируемой структуры и обладали ограниченными возможностями к наращиванию.
- При создании мини-ВС в Советском Союзе за основу была взята концепция *вычислительных систем с программируемой структурой*

# Концептуальные основы построения мини-ВС

- Архитектурные решения в области мини-ВС, опыт их проектирования, разработки системного и прикладного программного обеспечения нашел массовое применение только в конце 20 столетия.
- Вычислительные кластеры – это по существу многопроцессорные или многомашинные ВС, конфигурируемые из микропроцессоров, или персональных ЭВМ (например, IBM PC).

# Вычислительная система МИНИМАКС

**МИНИМА**шинная программно Коммутируемая Система (**МИНИМАКС**) создана Институтом математики СО АН СССР (Отделом вычислительных систем) и Научно-производственным объединением “Импульс” Министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР (г. Северодонецк). Технический проект МИНИМАКС разработан в 1974 г., а опытно-промышленный образец системы был изготовлен и отработан в 1975 г.

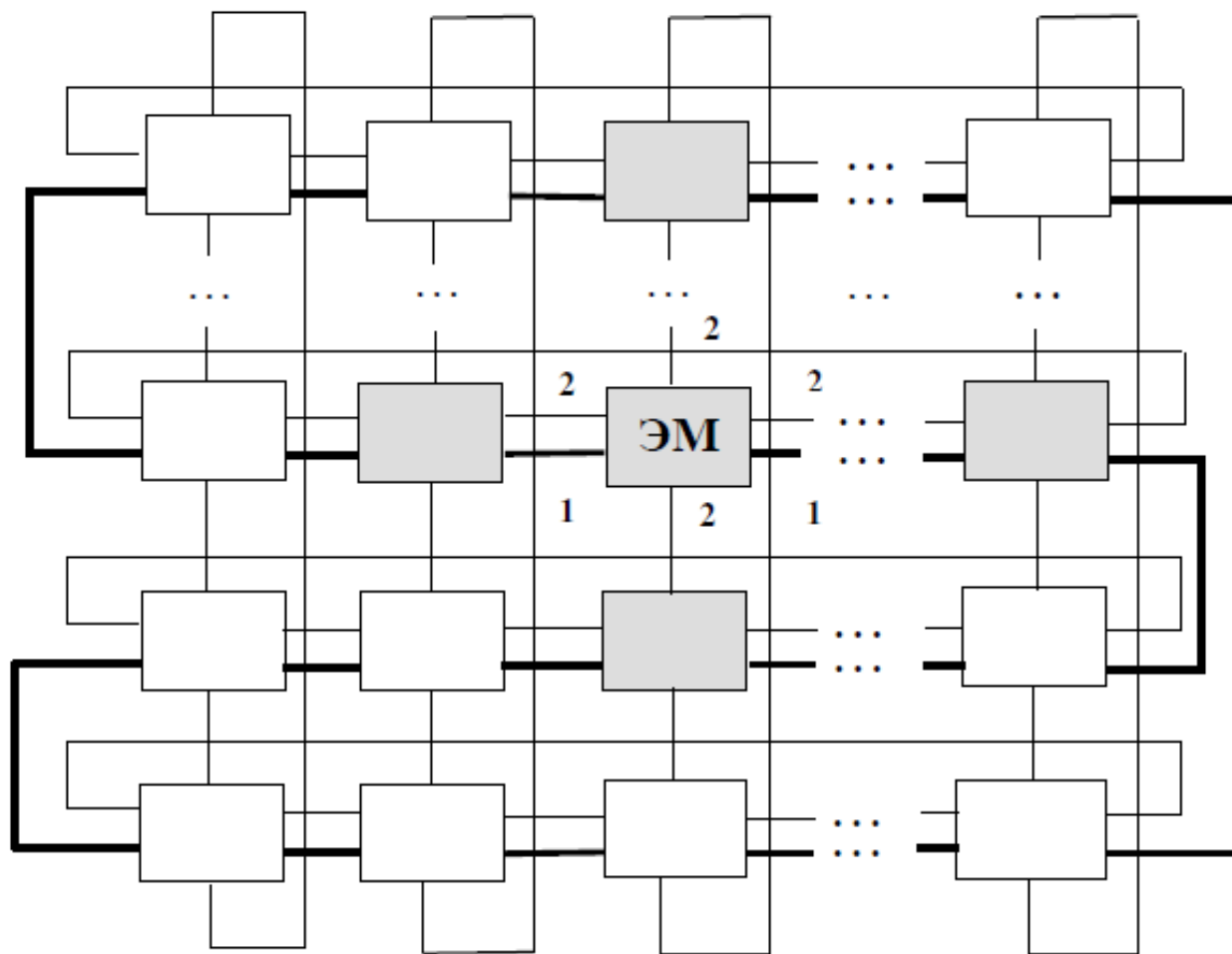


# Архитектура системы МИНИМАКС

- MIMD-архитектура;
- Распределённость средств управления, обработки и памяти;
- Параллелизм, однородность, модульность;
- Программируемость структуры;
- Двумерная (циркулянтная) топология;
- Масштабируемость;
- Живучесть;
- Максимальное использование промышленных средств мини-ЭВМ.

# Функциональная структура мини-ВС

## МИНИМАКС



ЭМ – элементарная машина, 1 – одномерные управляющие каналы,  
2 – двумерные рабочие каналы

# Функциональная структура мини-ВС

## МИНИМАКС

Типичными системными взаимодействиями являлись:

- программное изменение структуры мини-ВС и степени участия ЭМ в системных взаимодействиях (настройка);
- передача информации из оперативного запоминающего устройства одной ЭМ в памяти других (обмен);
- выполнение обобщённого безусловного перехода (ОБП);
- синхронизация работы ЭМ;
- осуществление обобщённого условного перехода (ОУП) по значению признака  $\Omega$ .

# Функциональная структура мини-ВС

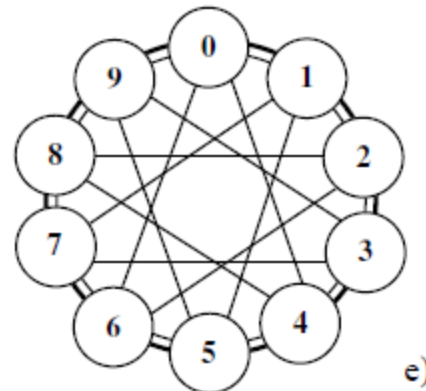
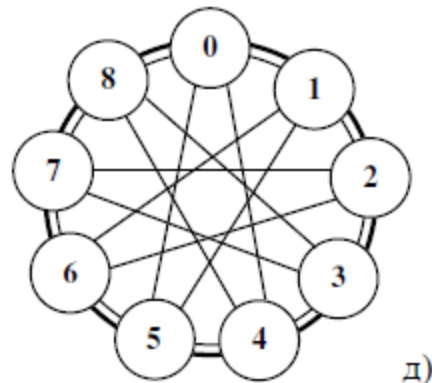
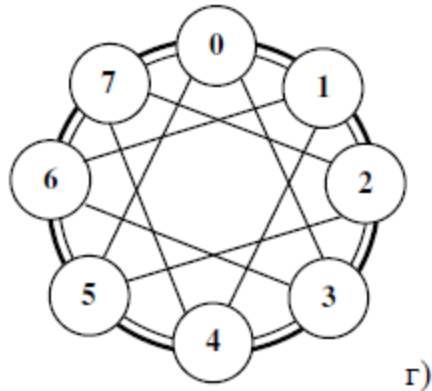
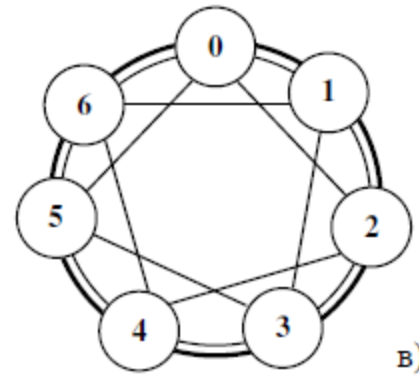
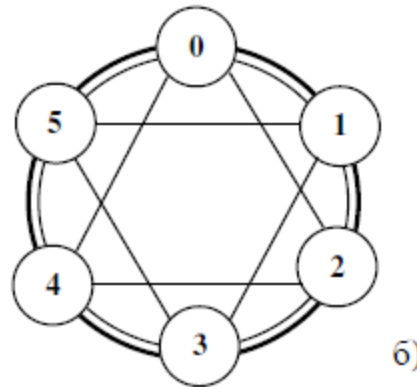
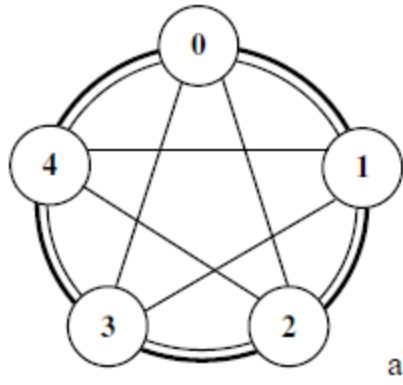
## МИНИМАКС

- Межмашинные взаимодействия при функционировании мини-ВС реализовывались с помощью специальных подпрограмм – *системных драйверов*
- Структура системы МИНИМАКС была удобна для реализации параллельных программ сложных задач, однако в определённых сферах применения мини-ВС МИНИМАКС требовались оптимальные структуры

# Функциональная структура мини-ВС

## МИНИМАКС

- При компоновке мини-ВС, состоявшей из  $N$  ЭМ, использовались для отождествления полюсов связей 1 одномерные структуры, а для отождествления полюсов связей 2 – оптимальные двумерные структуры:  $D_2$ -графы



$D_2$ -графы вида:

а) {5; 1,2},

б) {6; 1,2},

в) {7; 1,2},

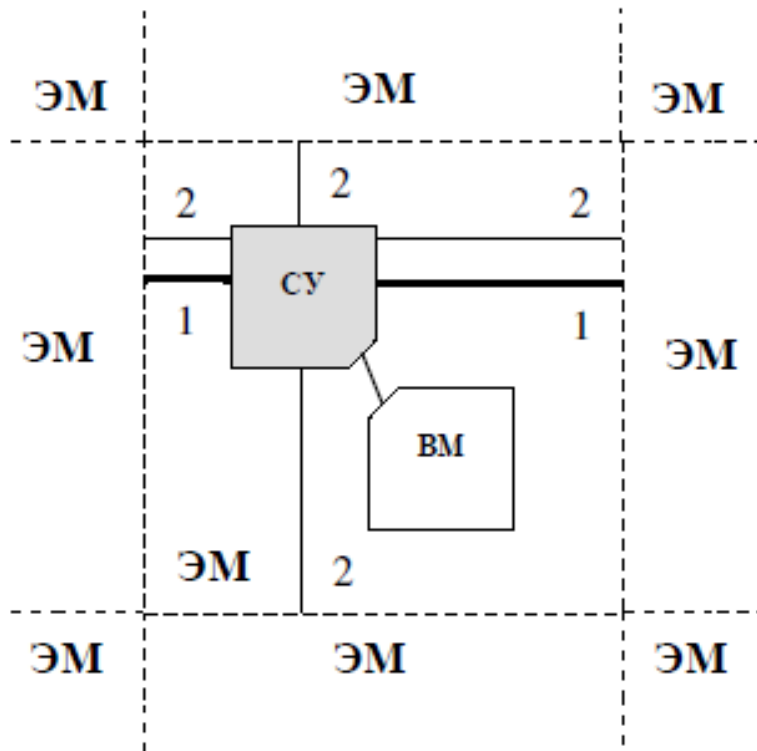
г) {8; 1,3},

д) {9; 1,4},

е) {10; 1,4}

# Элементарная машина мини-ВС МИНИМАКС

- Вычислительная система МИНИМАКС компоновалась из ЭМ-многополюсников
- Каждая ЭМ – это композиция из вычислительного модуля (ВМ) и системного устройства (СУ)
- Структура ЭМ не была жёстко заданной и определялась областью применения



- В качестве ВМ могли быть использованы любые конфигурации мини-ЭВМ на базе процессоров М-6000, М-7000, СМ-1П
- Архитектура системы МИНИМАКС была рассчитана также на применение мини-ЭВМ моделей HP 2114-2116 семейства Hewlett-Packard

# Элементарная машина мини-ВС МИНИМАКС

## ➤ Основные технические характеристики мини-ЭВМ семейств АСВТ-М, СМ ЭВМ и Hewlett-Packard:

базовый набор команд – 70 инструкций;

одноадресная структура команд машины;

система счисления – двоичная;

длина слов – 16 двоичных разрядов;

способы представления чисел – с фиксированной и плавающей запятыми

многоуровневая непрямая адресация памяти;

емкость магнитной оперативной памяти – 4К – 32К слов;

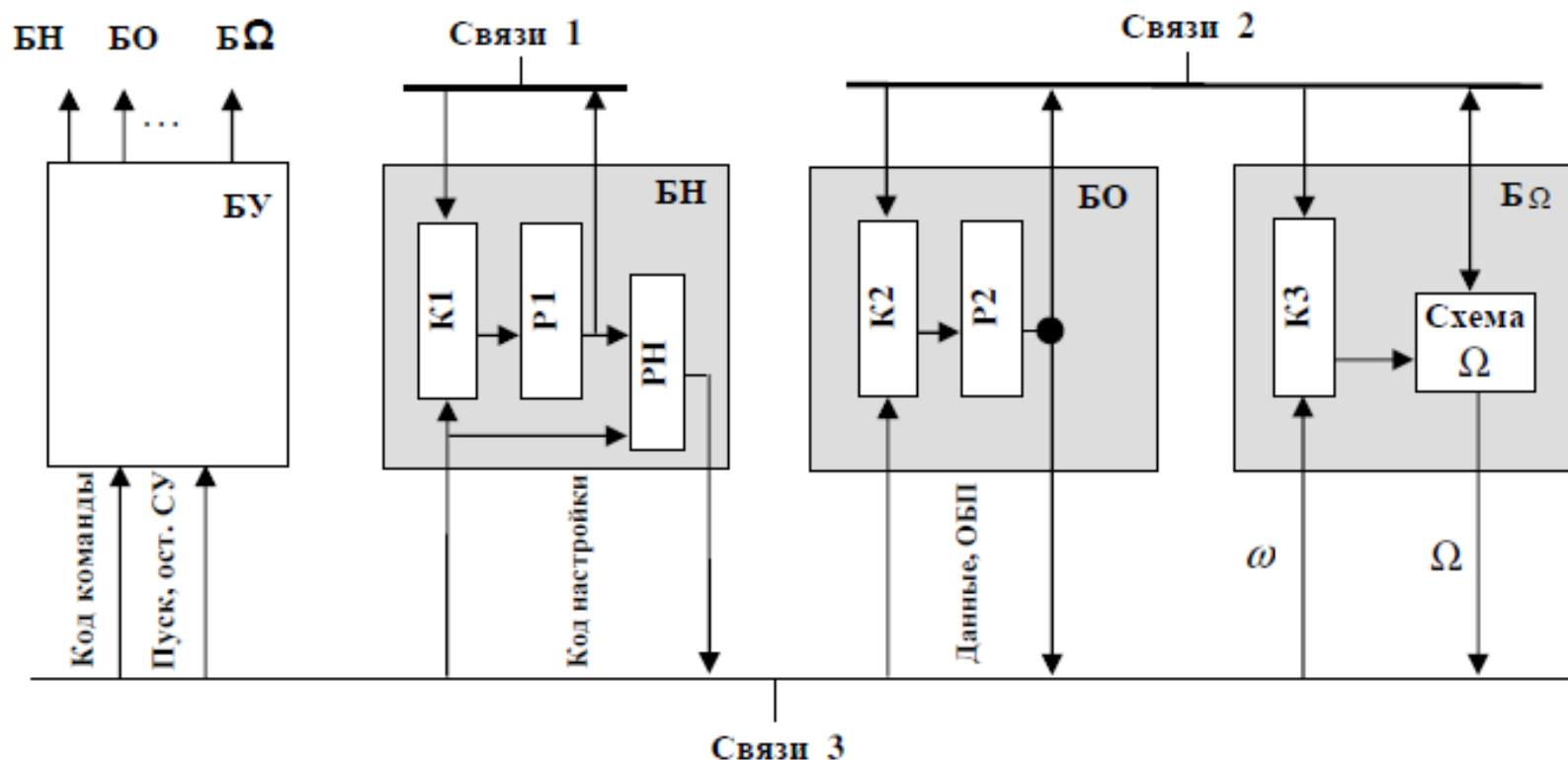
многоуровневая система прерываний (для обслуживания запросов различных приоритетов);

быстродействие при выполнении операций типа "сложение" – 250 – 400 тыс. опер./с;

время выполнения команд: сложения (регистр-память) – 2,5 – 5 мкс, умножения (по подпрограмме) – 150 – 187 мкс, деления (по подпрограмме) – 310 – 387 мкс, умножения (спецпроцессором) – 19,2 – 24 мкс, деления (спецпроцессором) – 20,8 – 26 мкс.

# Элементарная машина мини-ВС МИНИМАКС

- Системное устройство было спроектировано как автономное устройство АСВТ-М
- В состав системного устройства входили: блок местного управления (БУ), блок настройки (БН), блок обмена информацией (БО), блок выработки  $\Omega$  – обобщённого признака (Б $\Omega$ )





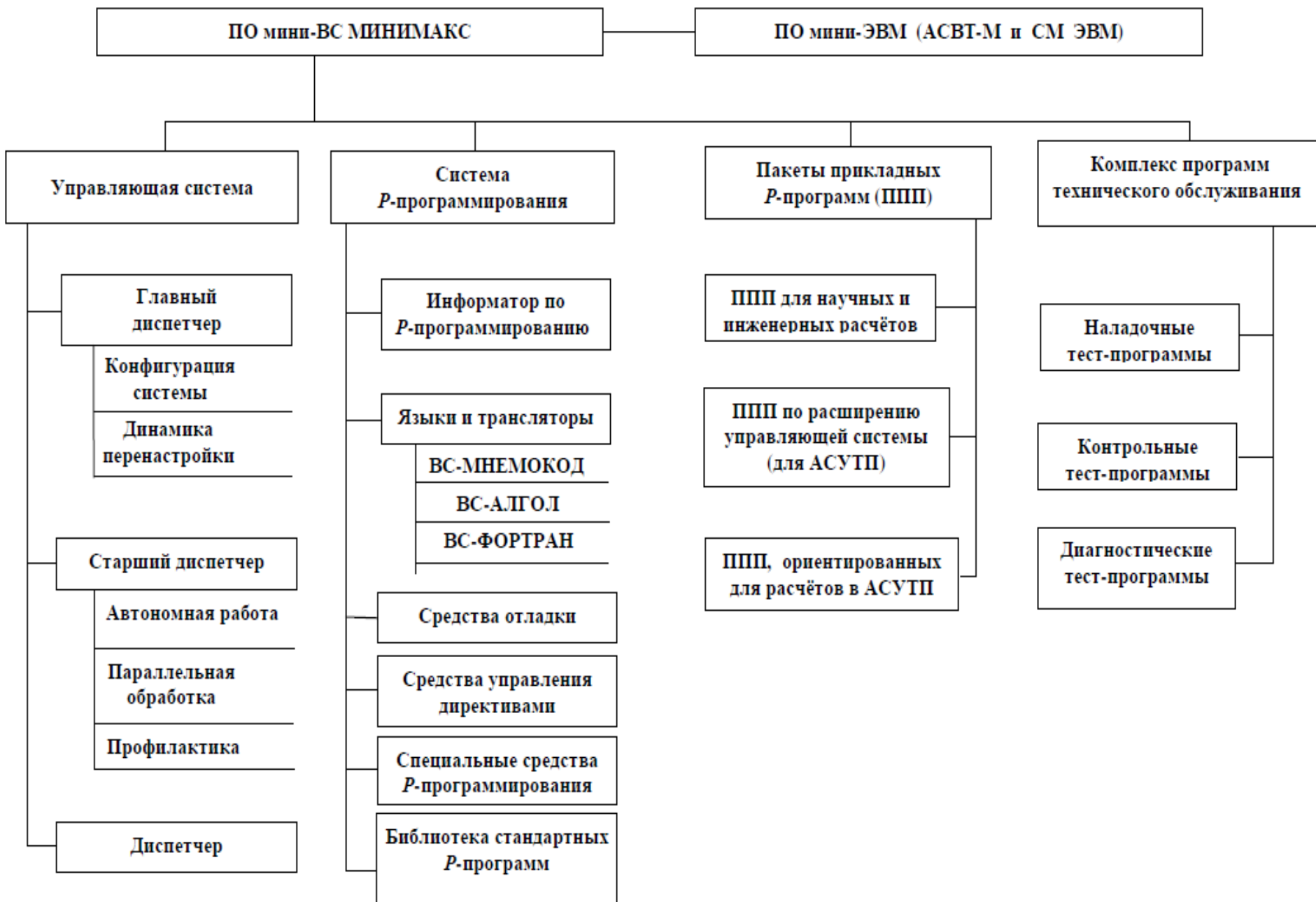
# Элементарная машина мини-ВС МИНИМАКС

- *Блок управления* служил для реализации алгоритма работы системного устройства в соответствии с кодами системных операций. Управляющие сигналы данного блока координировали работу остальных – БН, БО, БВ
- *Блок настройки*. Настройка ЭМ заключалась в изменении кода в её регистре настройки (РН). Содержимое 3-разрядного регистра настройки указывало, выполняет ли данная ЭМ взаимодействия по связям (2) и задаёт ли направление приёма информации для взаимодействий (2) и (3)
- *Блок обмена* предназначался для выполнения передач информации между оперативными памятьями машин, выделенных при настройке, и для пересылок адресов передачи управления при операциях обобщённого безусловного перехода
- *Блок  $\Omega$*  служил для синхронизации машин и осуществления обобщённого условного перехода в мини-ВС
- *Контроль*. Информация, передаваемая по связям (1) – (3), контролировалась по паритету. Обнаружение ошибки при передаче вызывало выработку сигнала прерывания соответствующего ВМ. Реакция мини-ВС на возникновение ошибки определялась содержимым регистра настройки и источником ошибки

# Системные команды мини-ВС МИНИМАКС

- **Настройка** подразделялась на настройку машины и настройку системы  
*Настройка машины* производилась с помощью одной из двух команд. Первая осуществляла занесение кода, заданного в команде, на регистр настройки, вторая – перепись содержимого регистра P1 на регистр настройки  
*Настройка системы* выполнялась при помощи четырёх команд, определявших направление настройки (вправо или влево от настраиваемой ЭМ) и её характер (занесение кода настройки на регистр настройки или P1)
- **Обмен** осуществлялся при помощи *команд передачи и приёма*
- **Обобщённый безусловный переход** использовался для передачи управления в машинах по адресу, поступавшему из управляющей машины
- **Синхронизация** работы машин осуществлялась с помощью специальной команды. Машины, выполнявшие эту команду, вырабатывали значения индивидуальных признаков  $\omega = 1$ . Синхронизация достигалась когда все синхронизируемые машины вырабатывали значения обобщённого признака  $\Omega = 1$
- **Обобщённый условный переход** реализовывался по специальной команде. Эту команду обязаны были выполнить все машины, в которых требовалось осуществить условную передачу управления по значению обобщённого признака  $\Omega$

# Программное обеспечение МИНИМАКС



# Анализ мини-ВС МИНИМАКС

- Системы МИНИМАКС имели программируемую структуру и могли состоять из произвольного числа машин, им были доступны задачи со значительным объёмом вычислений
- Мини-ВС МИНИМАКС могли функционировать автономно, в качестве вспомогательных подсистем мощных сосредоточенных вычислительных систем, в составе распределённых вычислительных систем или сетей

# Вычислительная система СУММА

- Система Управляющая Мини-МАшинная (СУММА) - мини-ВС с программируемой структурой
- Система СУММА была разработана Институтом математики СО АН СССР (Отделом вычислительных систем) совместно с Производственным объединением “Кварц” Министерства электронной промышленности СССР (г. Калининград)
- Техническое проектирование мини-ВС было выполнено в 1975 г., опытно-промышленный образец был изготовлен и отработан в 1976 г.

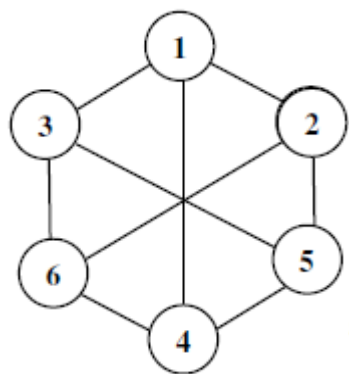
# Архитектура системы СУММА

- MIMD-архитектура;
- Распределённость средств управления, обработки и памяти;
- Параллелизм, однородность, модульность;
- Программируемость структуры;
- Масштабируемость;
- Живучесть;
- Единый канал для управляющей и рабочей информации;
- Аппаратурно-программная реализация системных взаимодействий.

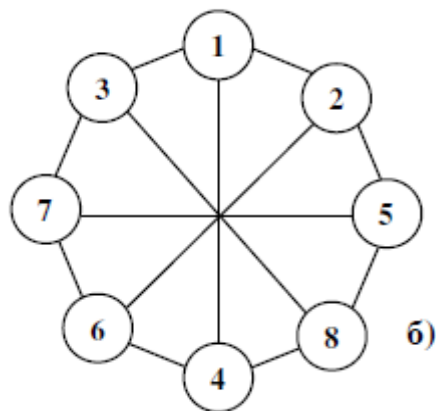
# Функциональная структура мини-ВС СУММА

- ЭМ-трёхполюсники, число которых было не фиксировано
- Архитектурная гибкость
- Принципиальные ограничения на структуру мини-ВС не накладывались
- Единые каналы обмена управляющей и «рабочей» информацией между машинами вместе с программной реализацией некоторых функций позволили существенно упростить системное устройство
- Из-за использования для всех взаимодействий одних и тех же связей перепрограммирование структуры мини-ВС можно было осуществлять только в границах сформированных подсистем
- Для формирования мини-ВС СУММА использовались оптимальные  $(N, 3, g)$ -графы

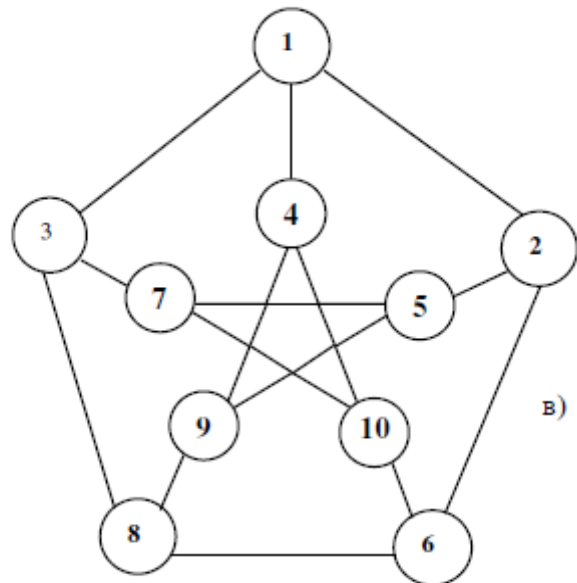
# Функциональная структура мини-ВС СУММА



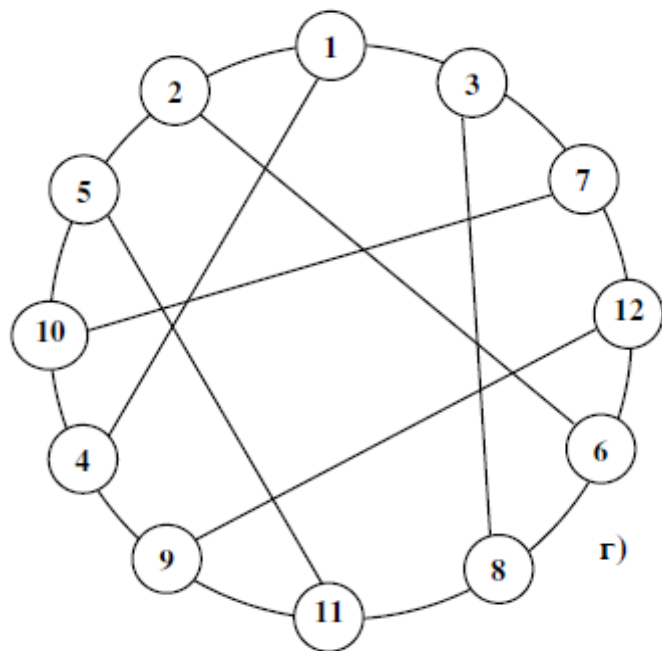
а)



б)



в)



г)

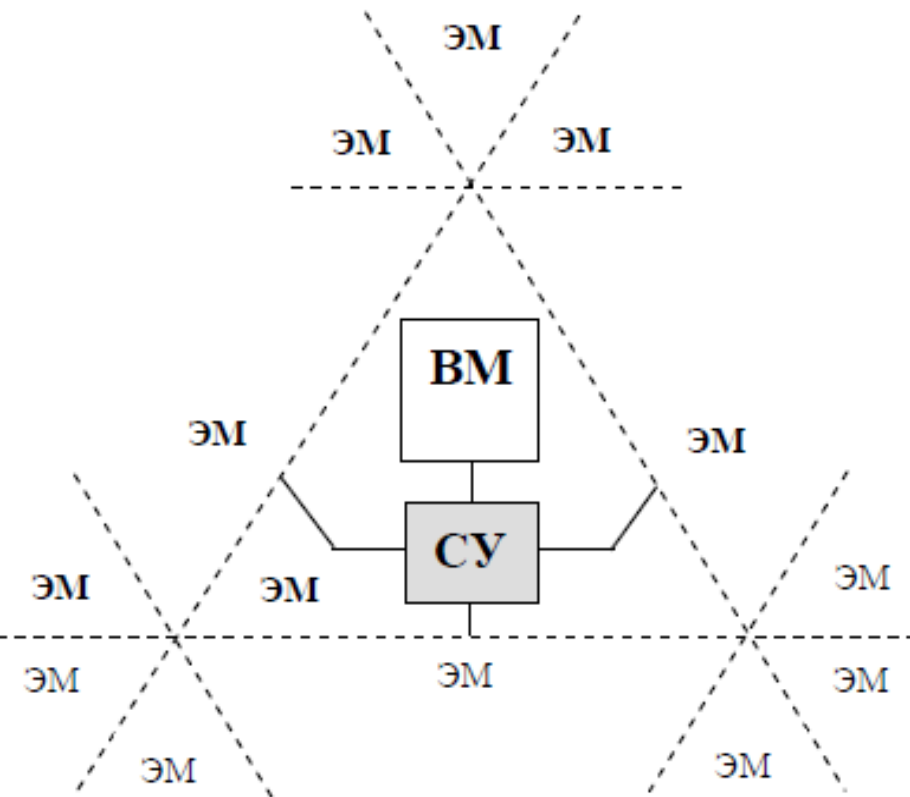
Оптимальные структуры мини-ВС СУММА:  
а)  $L(6,3,4)$ , б)  $L(8,3,4)$ ,  
в)  $L(10,3,5)$ , г)  $L(12,3,5)$



# Элементарная машина мини-ВС СУММА

- «Трёхполюсник», или, точнее, композиция из вычислительного модуля (ВМ) и системного устройства (СУ), рассчитанного на три межмашинные связи
- *Вычислительный модуль* предназначался для выполнения всех операций, связанных с переработкой информации, и, в частности, для инициирования реализации системных операций

- *Системное устройство* использовалось для реализации системных взаимодействий машин, в частности, для программирования структуры мини-ВС
- В качестве ВМ могли быть взяты произвольные конфигурации мини-ЭВМ «Электроника-100 И» или мини-ЭВМ PDP-8 фирмы Digital

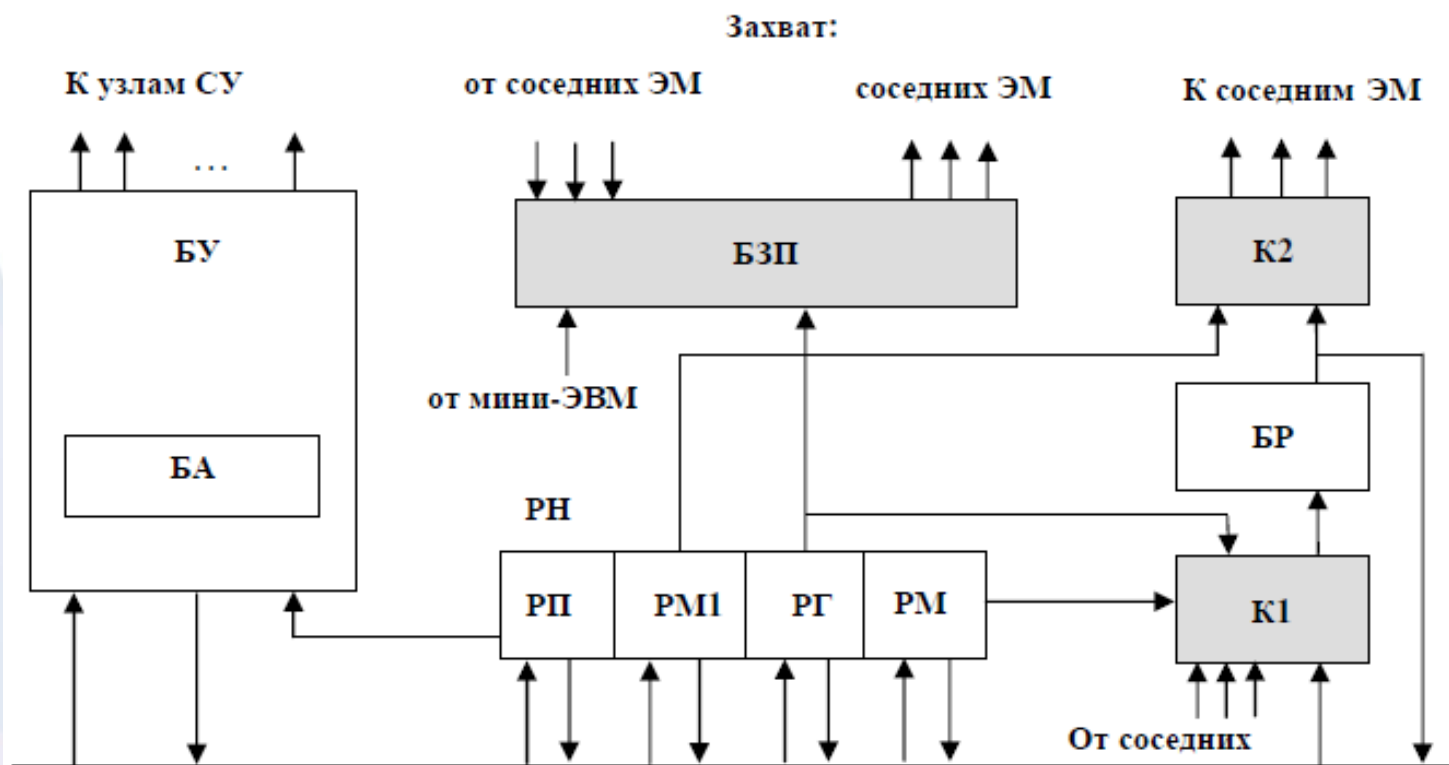


# Элементарная машина мини-ВС СУММА

- Минимальная конфигурация ЭВМ “Электроника-100 И” включала процессор, ферритовую оперативную память и средства ввода-вывода информации.
- Основные технические характеристики ЭВМ:
  - структура команд машины – одноадресная;
  - система счисления – двоичная;
  - длина слов – 12 двоичных разрядов;
  - способ представления чисел – с фиксированной запятой (режим работы с плавающей запятой реализовывался программно);
  - цикл оперативной памяти – 1,5 мкс;
  - ёмкость оперативной памяти – 4 К – 32 К слов;
  - быстродействие при выполнении операций типа “сложение” – 300 тыс. опер/с;
  - время выполнения команд: сложения (регистр-память) – 3 мкс, умножения с фиксированной запятой – 10 мкс.

# Элементарная машина мини-ВС СУММА

- Системное устройство конструктивно было оформлено в виде отдельного модуля
- Системное устройство обеспечивало передачу информации между машинами по способу коммутации сообщений.
- В состав каждого системного устройства (СУ) входили: блок управления (БУ), входной и выходной коммутаторы К1 и К2, буферный регистр (БР), регистр настройки (РН), блок захвата и приоритетов (БЗП).



# Элементарная машина мини-ВС СУММА

- *Блок управления* осуществлял координацию работы всех остальных схем СУ при реализации его взаимодействий с собственной мини-ЭВМ и соседними ЭМ
- *Коммутаторы K1 и K2* системных устройств предназначались для управления потоками информации при межмашинных взаимодействиях в мини-ВС
- *Регистр настройки* – представлял собой композицию из четырёх регистров: РП, РМ1, РМ2, РГ
- При функционировании мини-ВС СУММА любое обращение к любому СУ начиналось с выдачи в него сигнала захвата. Доступ к СУ получало то средство, заявки которого на обслуживание принималось *блоком захвата и приоритетов*

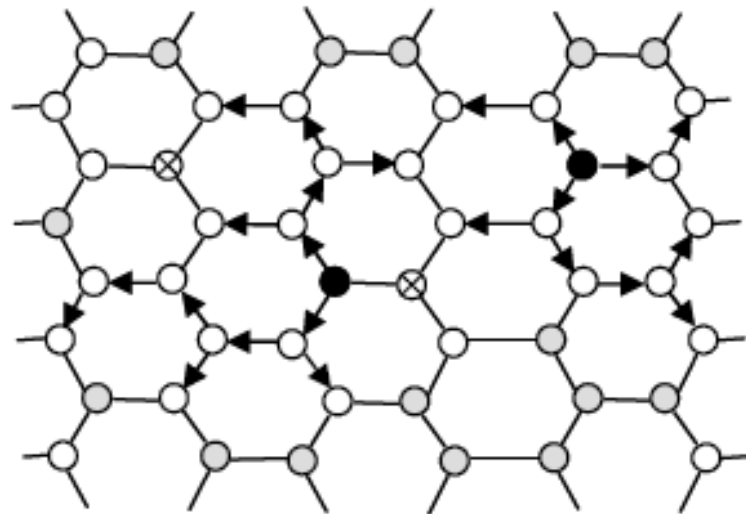
# Системные команды мини-ВС СУММА

- Команды обращения из мини-ЭВМ в собственное СУ
- Команды обмена информацией между любыми машинами подсистемы

Формат слова настройки мини-ВС  
СУММА



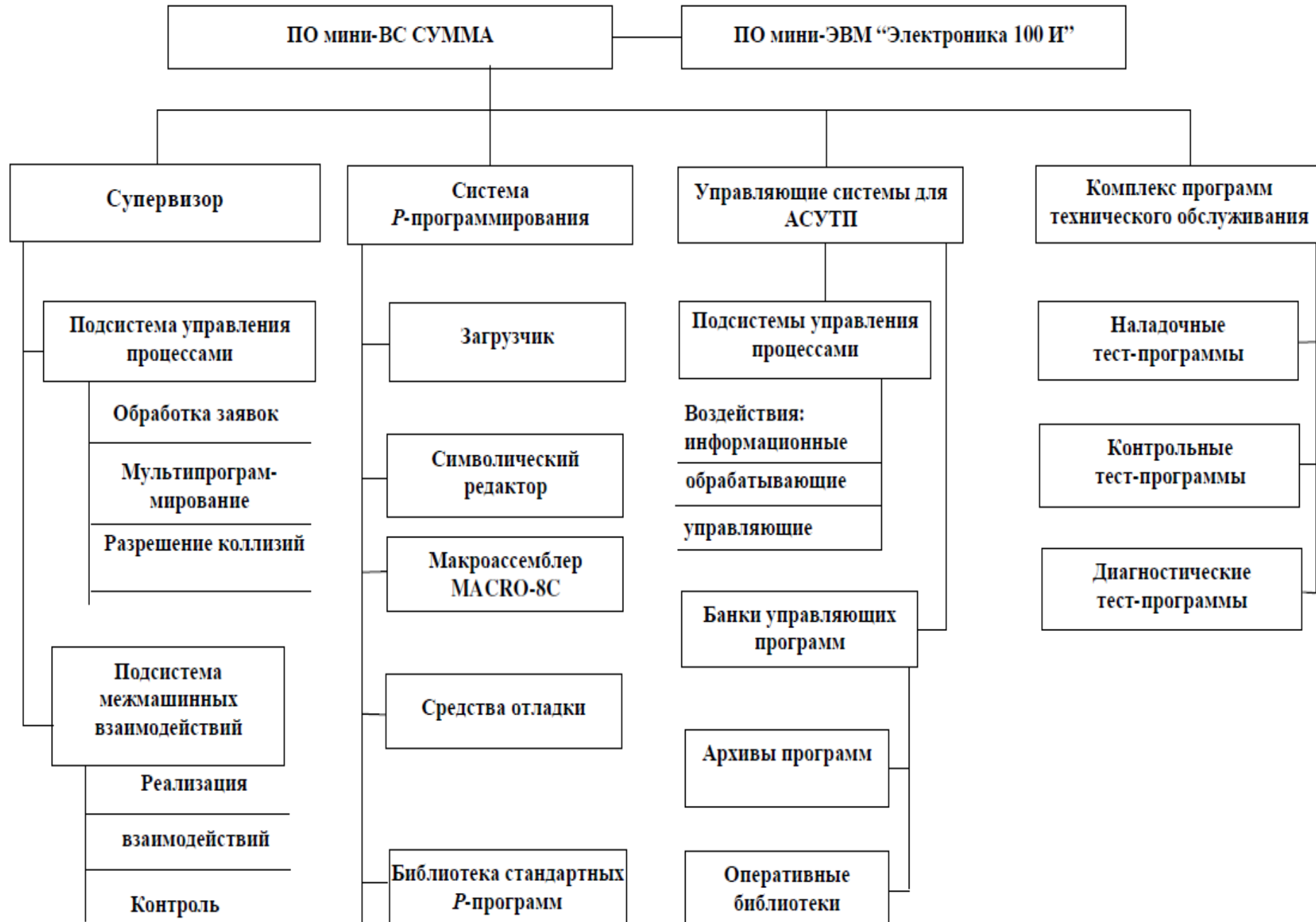
# Формирование «компонентов связности» в мини-ВС СУММА



- – ведущая ЭМ,
- ⊗ – неисправная ЭМ,
- – свободная ЭМ,
- ◐ – ЭМ, занятая в других подсистемах

- Ведущая ЭМ создавала «компонент связности», включавший в себя все доступные ей машины при данной загрузенности системы
- Машины, соседние с ведущей, принимали и одновременно ретранслировали слово настройки в другие ЭМ системы
- В результате выполнения описываемого волнового алгоритма все исправные ЭМ, доступные ведущей машине, образовывали компонент связности

# Программное обеспечение СУММА



# Анализ мини-ВС СУММА

- Перспективное (для своего времени) вычислительное средство для автоматизации управления технологическими процессами
- Простота компоновки и настройки на заданный парк оборудования и объектов управления
- Модульная и адекватная наращиваемость вычислительной мощности при развитии производства
- Высокая надёжность и живучесть
- Высокая технико-экономическая эффективность
- Длительный срок эффективной эксплуатации (медленное моральное старение)
- Применение системы СУММА было эффективно и при решении широкого класса задач, представленных параллельными программами
- Функциональная организация системного устройства позволяла просто адаптировать систему СУММА к конкретным областям её применения



Массово-параллельные  
вычислительные системы  
с программируемой структурой  
семейств МИКРОС и МВС

# Вычислительные системы семейства МИКРОС

- В конце 70-х годов 20 столетия мини-процессоры вытесняются микропроцессорами, на смену мини-ЭВМ производятся микроЭВМ
- В начале 1980-х годов в качестве базы для построения распределённых ВС с программируемой структурой стали служить аппаратно-программные средства микроЭВМ.
- Отделе вычислительных систем Сибирского отделения АН СССР инициировались работы по научно-исследовательскому проекту МИКРОС. Цель этих работ – создание МИКРОпроцессорных Систем с программируемой структурой (МИКРОС).
- Результатом работ является семейство МИКРОС, включающее модели МИКРОС-1, 1986 г.; МИКРОС-2, 1992 г.; МИКРОС-Т, 1996 г.
- Разработка моделей семейства МИКРОС осуществлялась Отделом вычислительных систем СО АН СССР (СО РАН) в содружестве с подразделениями Научно-производственного объединения “Алмаз” и Научно-исследовательского института “Квант” Министерства радиопромышленности СССР (г. Москва).

# Архитектура семейства МИКРОС

- MIMD-архитектура
- Распределённость средств управления, обработки и памяти
- Массовый параллелизм (при обработке данных и управлении процессами)
- Возможность программной трансформации MIMD-архитектуры в SIMD и MISD
- Программируемость структуры сети межмашинных связей
- Децентрализация ресурсов
- Асинхронность и близкодействие
- Масштабируемость, модульность и однородность

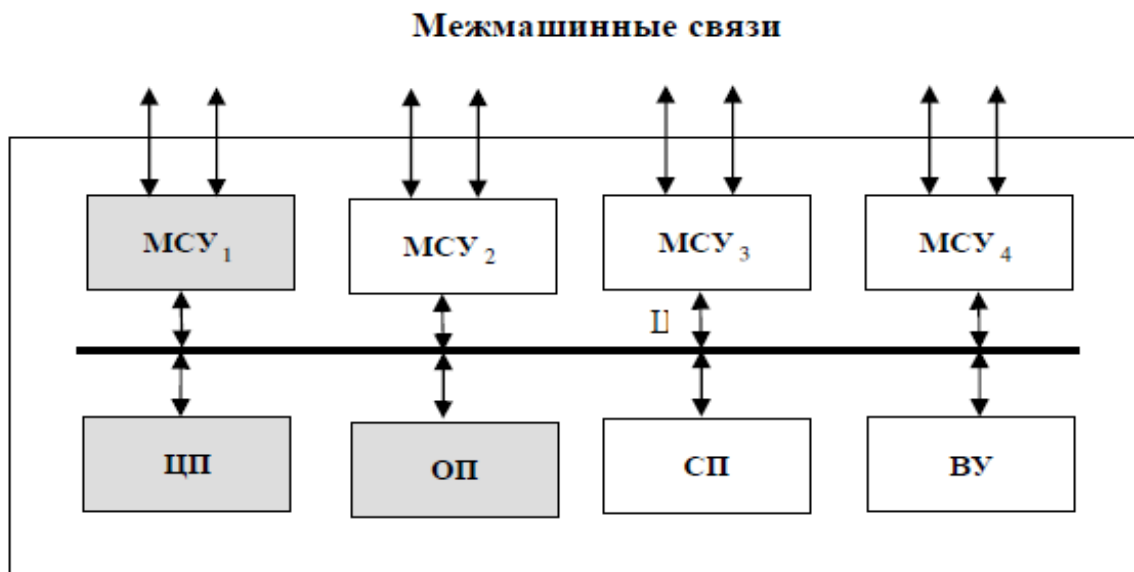
# Функциональные структуры моделей семейства МИКРОС

- Число элементарных машин в любой из моделей не фиксировано
- Каждая ЭМ – это многополюсник, число полюсов  $v$  в первых моделях систем допускало варьирование в пределах от 2 до 8, а в модели МИКРОС-Т равно 4
- Каждое поколение ВС семейства МИКРОС адекватно учитывала текущие возможности вычислительной техники и интегральной технологии
- Свойством масштабируемости обладали не только модели семейства МИКРОС, но и их элементарные машины
- Простейшая конфигурация ЭМ – это модуль системного устройства (МСУ), центральный процессор (ЦП) и оперативная память (ОП)

# Элементарные машины МИКРОС-1 и МИКРОС-2

- В моделях ВС МИКРОС-1 и МИКРОС-2 в качестве базовых машин были использованы микроЭВМ «Электроника 60М» и «Электроника 60-1», соответственно
- Расширенные конфигурации ЭМ систем МИКРОС-1 и МИКРОС-2 могли иметь в своём составе до четырёх модулей СУ, спецпроцессор (СП), дополнительные модули оперативной памяти, набор внешних устройств (ВУ)
- Спецпроцессоры «Электроника МТ-70» или «Электроника 1603» расширяли вычислительные возможности центральных процессоров при

решении научно-технических задач, связанных с обработкой значительных массивов данных и с выполнением больших объёмов однородных вычислений



Функциональная структура элементарных машин систем  
МИКРОС-1 и МИКРОС-2

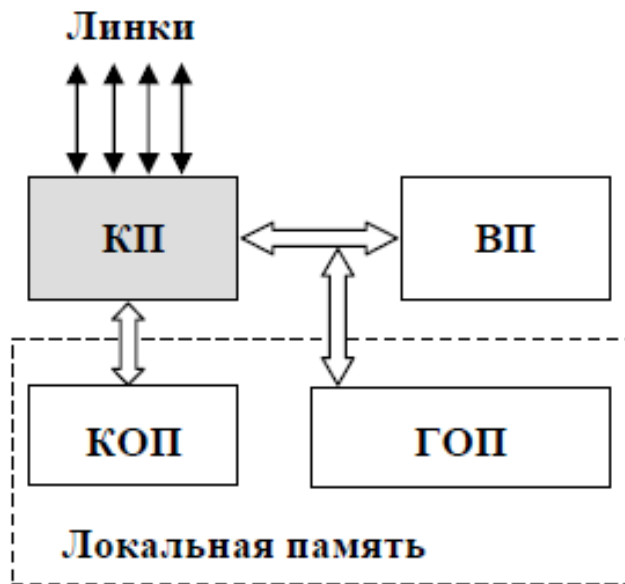
# Элементарные машины МИКРОС-1 и МИКРОС-2

Техническая характеристика микроЭВМ семейства “Электроника”	“Электроника”	
	60М	60-1
Разрядность слова, дв. разр.	16	16
Разрядность чисел с плавающей запятой, дв. разр.	32	32
Объём адресного пространства, К слов	32	128
Максимальная ёмкость ОЗУ, К слов	28	124
Число команд	81	130
Быстродействие, $10^3$ опер./с	250	500
Число уровней прерывания	2	4

Техническая характеристика спецпроцессора семейства “Электроника”	“Электроника”	
	МТ-70	МС 1603
Разрядность чисел с фиксированной запятой, дв. разр.	16	16
Ёмкость памяти данных, слов	32	32–256
Ёмкость памяти микропрограмм, бит	$512 \times 56$	$512 \times 32$
Число операций над массивами данных	32	32
Время выполнения операций сложения, нс	200	200
Время выполнения операций умножения, нс	400	200
Время выполнения быстрого преобразования Фурье (1024 комплексные точки), мс	30,1	<11

# Элементарная машина МИКРОС-Т

- Система МИКРОС-Т базируется на *транспьютерных технологиях*. Транспьютер (Transputer) – это элементарная машина-четырёхполюсник в интегральном исполнении
- Простейшая конфигурация элементарной машины представляется транспьютером (например, Inmos T 805) с памятью, развитые конфигурации ЭМ могут включать в себя высокопроизводительные микропроцессоры: Intel 860, PowerPC , Alpha и др.



КП - коммуникационный процессор  
(например, транспьютер Inmos T805)

ВП - высокопроизводительный  
вычислительный микропроцессор

КОП – коммуникационная память

ГОП - главная оперативная память

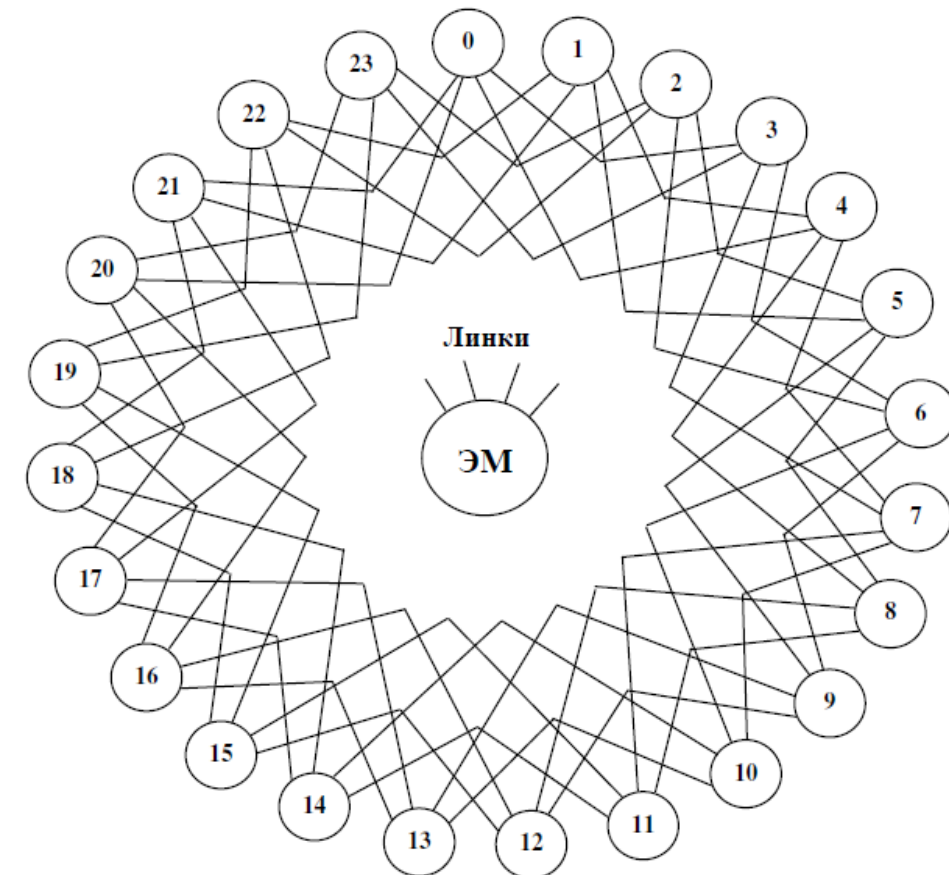
Производительность ЭМ :  $10^2$  MFLOPS –  $10$  GFLOPS

Ёмкость памяти:  $10^8$  –  $10^{10}$  байт

# Структура сети межмашинных связей

- Достаточные «масштабируемость размерности» и живучесть структур ВС достигаются при числе связей  $\nu = 2 - 8$
- Рекомендуемые виды структур сетей межмашинных связей ВС семейства МИКРОС – это оптимальные  $D_n$ - и  $L(N, \nu, g)$ -графы

$D_2$ -граф: {24; 3,4}

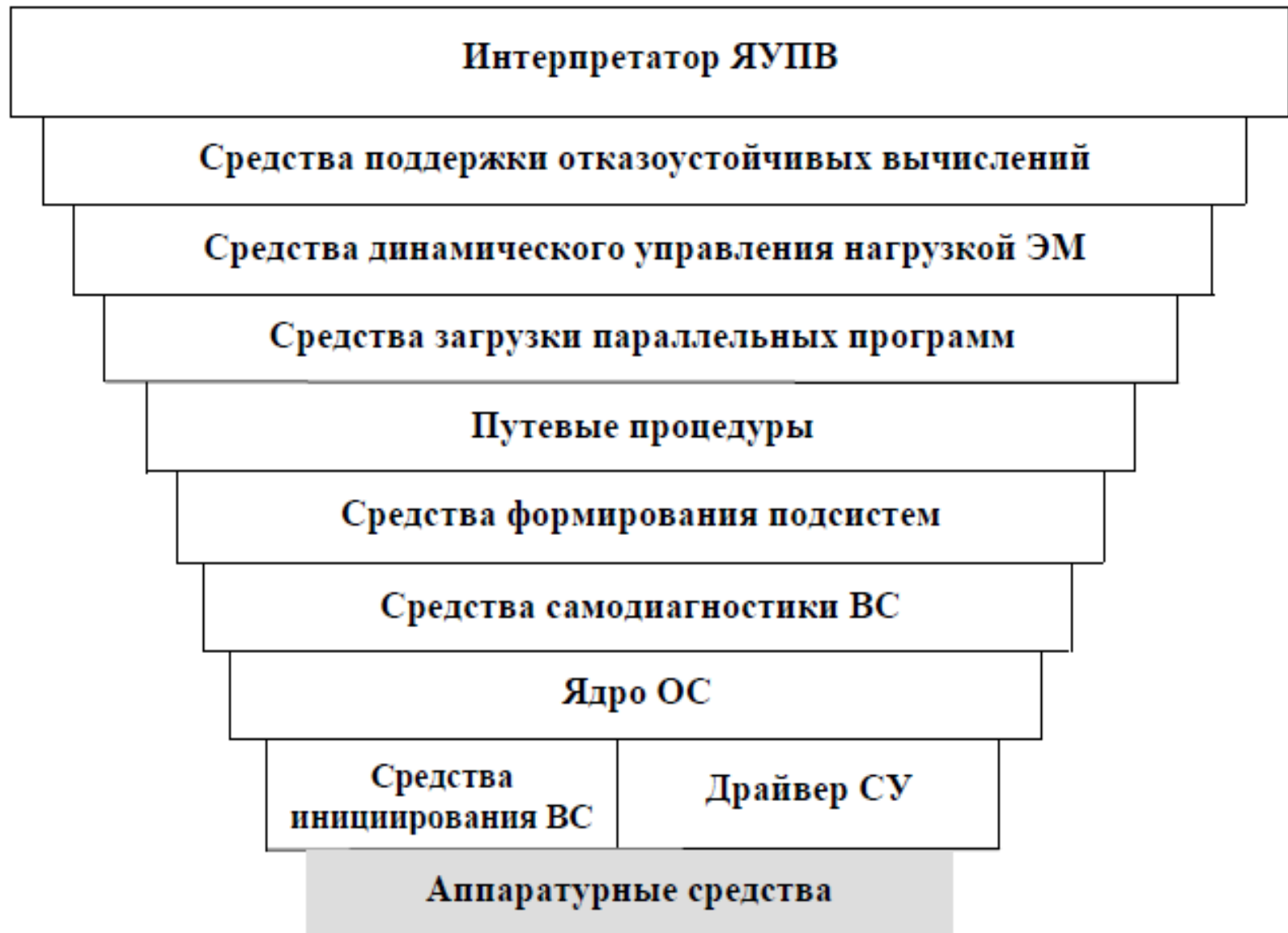


Возможность *статической реконфигурации структуры* путём:

- 1) изменения вида графа, представляющего сеть связи между ЭМ;
- 2) варьирования числа вершин в структурном графе системы;
- 3) изменения степени вершины в структурном графе от 2 до 8;
- 4) подбора состава ЭМ в широком диапазоне;
- 5) формирования как сосредоточенных, так и пространственно распределённых звеньев системы.



# Программное обеспечение МИКРОС



# Анализ семейства вычислительных систем МИКРОС

- *Класс архитектуры любой модели ВС – MIMD; допустима трансформация архитектуры MIMD в архитектуру MISD или SIMD в результате программной перенастройки системы.*
- *Класс ВС – система с программируемой структурой и с распределённым управлением.*
- *Характер пространственного размещения вычислительных ресурсов – сосредоточенный или распределённый.*
- *Основная функционально-структурная единица вычислительных ресурсов – элементарная машина.*
- *Функции ЭМ – традиционные для ЭВМ функции по переработке информации плюс функции, связанные с управлением ВС в целом как коллектива (ансамбля) машин.*
- *Масштабируемость ВС поддерживается аппаратными средствами (системным устройством либо транспьютером) и программным обеспечением.*
- *Число  $N$  элементарных машин не фиксировано, что обеспечивает принципиально неограниченное наращивание производительности ВС.*

# Анализ семейства вычислительных систем МИКРОС

- *Виды структуры сети межмашинных связей:  $D_n$ -графы,  $L(N, v, g)$ -графы и произвольные (нерегулярные) графы*
- *Наращиваемость (масштабируемость) размерности структуры ВС :  $v = 1 - 8$ .*
- *Тип оперативной памяти – распределённая и общедоступная.*
- *Число коммуникационных средств в одной ЭМ систем:*

МИКРОС-1 или МИКРОС-2 – одно системное устройство в составе от 1 до 4 модулей СУ;

МИКРОС-Т – один транспьютер Inmos T805 (или T800).
- *Программное обеспечение ВС:*

МИКРОС-1 или МИКРОС-2:

распределённые децентрализованные операционные системы, являющиеся расширением ОС микроЭВМ “Электроника 60М” или “Электроника 60-1”;

языки параллельного программирования ФОРТРАН-С и Паскаль-С, являющиеся языками семейства микроЭВМ “Электроника”, дополнительными средствами организации системных взаимодействий.

МИКРОС-Т:

распределённая децентрализованная операционная система МИКРОС-Т

языки параллельного программирования Си-С и ФОРТРАН-С.

# Анализ семейства вычислительных систем МИКРОС

- *Режимы функционирования ВС:* монопрограммный, мультипрограммный
- *Способы обработки данных в ВС:* распределённый (параллельный), матричный, конвейерный
- *Рекомендуемая методика распараллеливания сложных задач* – крупноблочное распараллеливание, позволяющее за счёт минимизации затрат на межмашинные взаимодействия достичь линейной зависимости производительности ВС от числа ЭМ
- *Требуемый уровень производительности, ёмкости памяти, надёжности и живучести ВС* достигается путём подбора числа ЭМ и их состава, выбора структуры сети межмашинных связей, использования широких возможностей системных аппаратурно-программных средств по статической и динамической реконфигурации структуры и по варьированию состава системы

# Вычислительные системы семейства МВС

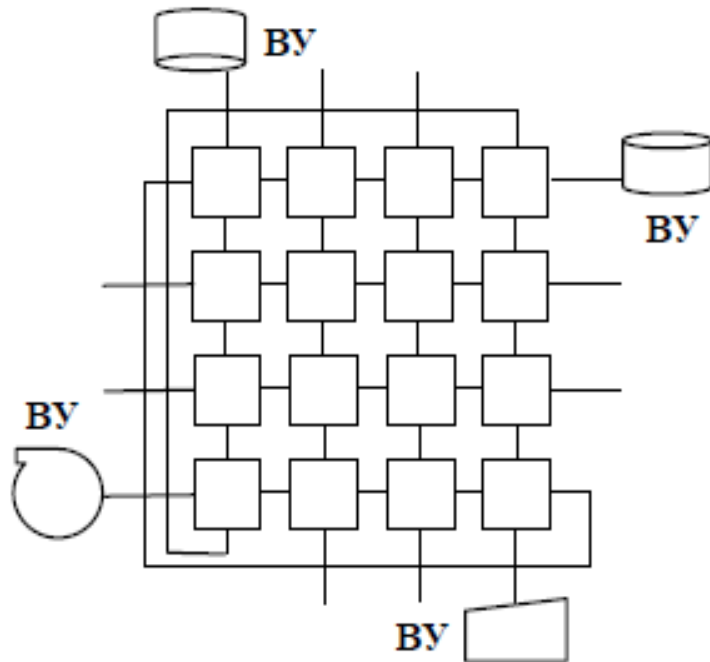
- Семейство МВС (многопроцессорных вычислительных систем) – это по сути промышленное расширение ряда: МИКРОС-1, МИКРОС-2, МИКРОС-Т.
- Семейство МВС было разработано в 90-х годах 20 столетия НИИ «Квант» и группой институтов РАН. Это семейство имеет два поколения: МВС-100 (1992 – 1996 гг.) и МВС-1000 (1997 – 2000 гг.).

# Архитектура семейства MVS

- MIMD-архитектура
- Распределенность средств управления, обработки и памяти
- Массовый параллелизм при обработке информации
- Программируемость структуры сети межмашинных связей
- Масштабируемость, модульность и однородность

# Функциональная структура систем семейства МВС

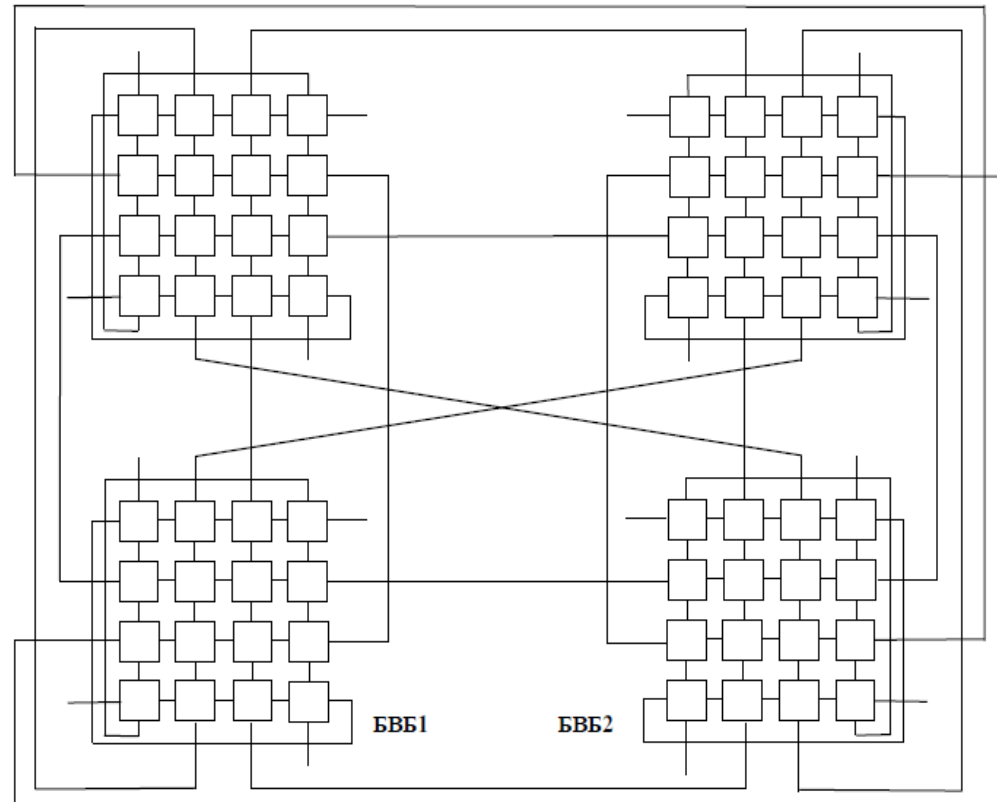
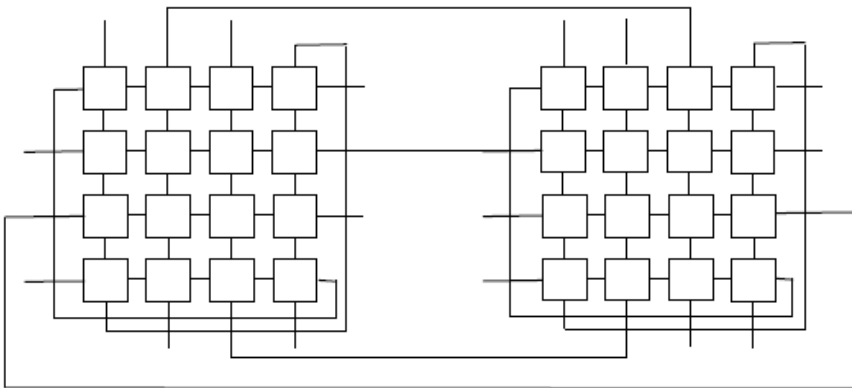
- Поколения МВС-100 и МВС-1000 имеют одну и ту же функциональную структуру элементарных машин – это структура ЭМ системы МИКРОС-Т
- Структура сети межмашинных связей в ВС семейства МВС подобна двумерному тору (для 4-линковых ЭМ)
- Структурный модуль ВС – это «матрица» из 4 x 4 связных элементарных машин
- Граничные линки модуля используются следующим образом:
  - 1) четыре линка угловых ЭМ матрицы – для организации двух диагональных связей,



- 2) оставшиеся 4 линка угловых машин – для подсоединения хост-компьютеров и внешних устройств (ВУ) и для связи с ЭМ других модулей,
- 3) восемь линков – для соединений с подобными структурными модулями.

# Функциональная структура систем семейства МВС

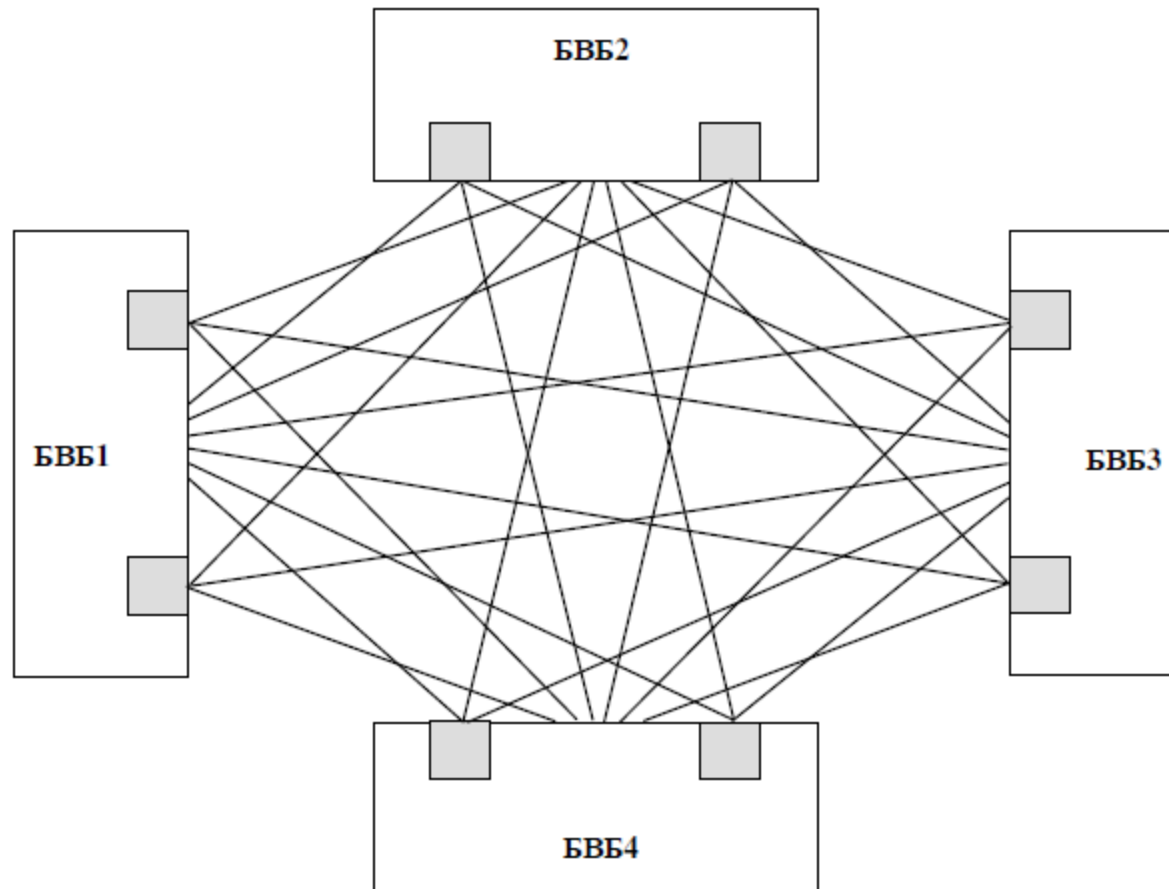
- Конструктивным модулем ВС семейства МВС является базовый вычислительный блок (БВБ), содержащий 2 структурных модуля или 32 элементарные машины
- Диаметр структуры вычислительного блока равен 5, как в 32-вершинном гиперкубе.
- Свободные линки (максимально 16) вычислительных блоков используются для организации конфигураций ВС с числом элементарных машин не менее 64





# Функциональная структура систем семейства МВС

- Для формирования многомашинных конфигураций ВС могут быть использованы дополнительные коммуникационные процессоры (транспьютеры). При этом в композиции из базового вычислительного блока и коммуникационного процессора один из внешних линков БВБ отождествляется с одним линком КП. Следовательно, в композиции БВБ & КП появляется 2 дополнительных внешних линка (по сравнению с БВБ).



# Элементарные машины систем МВС-100 и МВС-1000

Для формирования ЭМ вычислительных систем МВС-100 использовались в качестве:

коммуникационных процессоров (КП) – транспьютеры Inmos T425 или T805;

вычислительных процессоров (ВП) – i860 (i80860XR и i80860XP) или микропроцессор PowerPC (PowerPC 601 и PowerPC 603).

Элементарная машина МВС-100 имела следующие технические характеристики:

быстродействие – порядка  $10^2$  MFLOPS,

емкость главной памяти (ГОП) – 8 – 32 Мбайт,

емкость коммуникационной памяти (КОП) – 2 – 8 Мбайт,

пропускную способность канала межмашинной связи (одного из 4-х линков) – 2 Мбайт/с.

# Конструкция и управление ВС семейства МВС

- Для размещения элементарных машин ВС используются стандартные стойки размером  $0,6 \times 0,8 \times 2,2 \text{ м}^3$ . Каждая стойка имеет блоки вторичного электропитания и вентиляции. Стойка рассчитана на 64 элементарные машины, на 2 базовых вычислительных блока. Каждый БВБ смонтирован на типовой многослойной плате. Вес стойки – 200 кг, потребляемая мощность – 4 кВт.
- В многомашинных конфигурациях ВС используется несколько стоек. Так, для достижения производительности ВС порядка 1 TFLOPS требуется 512 элементарных машин, следовательно, система должна быть размещена в 8 стойках.
- Для обеспечения доступа к ВС извне, для управления множеством процессоров и внешними устройствами используется хост-компьютер. В качестве хост-компьютера могут служить рабочая станция AlphaStation с процессором Alpha или персональный компьютер с архитектурой IBM PC.

# Программное обеспечение систем семейства MBC

- Операционные системы в хост-компьютерах: Digital Unix (Tru64 Unix) для AlphaStation, Linux для IBM PC
- Средства программирования представлены языками и компиляторами FORTRAN 77, C и C++
- Коммуникационное программное обеспечение в ВС семейства MBC (MBC-1000) строится на основе специализированной «транспортной службы» Router+
- Для задач визуализации разработана специализированная библиотека GraphLib

# Перспективы развития семейства МВС

- Вычислительные системы семейства МВС – масштабируемые, следовательно, спектр областей их применения достаточно широк. Для каждой прикладной области может быть выбрана адекватная по составу и техническим параметрам конфигурация ВС.
- Системы типа МВС-1000 с различным числом процессорных узлов и типом интерконнекта эксплуатируются в ряде крупных научных, образовательных центров и промышленных предприятий страны, в частности: в Москве (Межведомственном суперкомпьютерном центре, ИПМ РАН, ИАП РАН, ИТЭС ОИВТ РАН, МГУГиК, ФГУП «Квант», ФГУП «ЦНИИ Маш», ФГУП «ЦИАМ»), регионах Сибири (ИВМиМГ СО РАН, ИТПМ СО РАН, ИВМ СО РАН), Урала (ИММ УрО РАН, ИМСС УрО РАН), Поволжья (ИММ КазНЦ РАН), Дальнего Востока (ИАПУ ДВО РАН).

МВС1000/96



# Анализ вычислительных MPP-систем с программируемой структурой

- Вычислительные системы с программируемой структурой – гибкий класс средств обработки информации с архитектурой MIMD
- Накоплен опыт создания ВС с программируемой структурой. Достигнутый уровень практики – это мультитранспьютерные живучие ВС с программируемой структурой МИКРОС-Т и МВС-100 и высокопроизводительные системы МВС-1000
- Результаты многолетней эксплуатации созданных систем показывают высокую эффективность архитектурных решений, присущих концепции ВС с программируемой структурой
- Вычислительные системы с программируемой структурой – это коллектив элементарных машин, число которых и структура сети связей между которыми допускают варьирования в широких пределах

*Концепция вычислительных систем с программируемой структурой позволяет создавать технико-экономически эффективные средства обработки информации, обладающие сверхвысокой производительностью, надёжностью и живучестью*

# Литература

Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем. Учебное пособие. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005; 2-е издание, 2008.

Хорошевский В.Г. Инженерные анализ функционирования вычислительных машин и систем. – М.: “Радио и связь”, 1987.